



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 101 26 100 A 1**

⑤ Int. Cl. 7:  
**B 05 B 7/14**

⑲ Aktenzeichen: 101 26 100.4  
⑳ Anmeldetag: 29. 5. 2001  
㉑ Offenlegungstag: 5. 12. 2002

DE 101 26 100 A 1

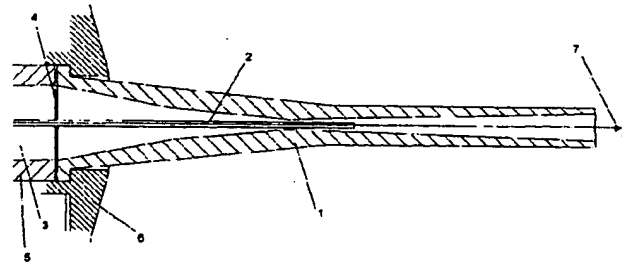
⑦1 Anmelder:  
Linde AG, 65189 Wiesbaden, DE

⑦2 Erfinder:  
Heinrich, Peter, 82110 Germering, DE; Stoltenhoff,  
Thorsten, 21465 Wentorf, DE; Richter, Peter, 84431  
Heldenstein, DE; Kreye, Heinrich, Dr., 22175  
Hamburg, DE; Richter, Horst, Prof., Norwich, Vt., US

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑥4 Verfahren und Vorrichtung zum Kaltgasspritzen

⑥7 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Kaltgasspritzen, wobei die Spritzpartikel in einen Gasstrom beschleunigt werden. Dabei bilden erfindungsgemäß ein Pulverrohr und ein äußerer Düsenkörper zusammen eine Lavaldüse, welche die hohen Gasströmungsgeschwindigkeiten herstellt. Dabei findet die Injektion der Spritzpartikel im divergenten Abschnitt der Lavaldüse statt.



DE 101 26 100 A 1

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Herstellung einer Beschichtung oder eines l'ormteils mittels Kaltgasspritzen, bei dem die pulverförmigen Spritzpartikel in einen Gasstrahl, für welchen ein Gas auf einen hohen Ausgangsdruck von bis zu 6,3 MPa gebracht und über eine Lavalldüse entspannt wird, mittels eines Pulverrohrs injiziert werden und die Spritzpartikel bei der Entspannung des Gasstrahls in der Lavalldüse auf Geschwindigkeiten von bis zu 2000 m/sec gebracht werden.

[0002] Es ist bekannt, auf Werkstoffe unterschiedlichster Art Beschichtungen mittels thermischen Spritzens aufzubringen. Bekannte Verfahren hierfür sind beispielsweise Flammsspritzen, Lichtbogenspritzen, Plasmaspritzen oder Hochgeschwindigkeits-Flammsspritzen. In jüngerer Zeit wurde ein Verfahren entwickelt, das sog. Kaltgasspritzen, bei welchem die Spritzpartikel in einem "kalten" Gasstrahl auf hohe Geschwindigkeiten beschleunigt werden. Die Beschichtung wird durch das Auftreffen der Partikel auf dem Werkstück mit hoher kinetischer l'nergie gebildet. Beim Aufprall bilden die Partikel, die in dem "kalten" Gasstrahl nicht schmelzen, eine dichte und fest haftende Schicht, wobei plastische Verformung und daraus resultierende lokale Wärmeabgabe für Kohäsion und Haftung der Spritzschicht auf dem Werkstück sorgen. Ein Aufheizen des Gasstrahls erwärmt die Partikel zur besseren plastischen Verformung beim Aufprall und erhöht die Strömungsgeschwindigkeit des Gases und somit auch die Partikelgeschwindigkeit. Die damit verbundene Gastemperatur kann bis zu 800°C betragen, liegt aber deutlich unterhalb der Schmelztemperatur des Beschichtungswerkstoffes, so dass ein Schmelzen der Partikel im Gasstrahl nicht stattfindet. Eine Oxidation und/oder Phasenumwandlungen des Beschichtungswerkstoffes lassen sich somit weitgehend vermeiden. Die Spritzpartikel werden als Pulver zugegeben, wobei das Pulver üblicherweise zumindest teilweise Partikel mit einer Größe von 1 bis 50 µm umfasst. Die hohe kinetische Energie erhalten die Spritzpartikel bei der Gasentspannung. Nach der Injektion der Spritzpartikel in den Gasstrahl wird das Gas in einer Düse entspannt, wobei Gas und Spritzpartikel auf Geschwindigkeiten über Schallgeschwindigkeit beschleunigt werden. Ein solches Verfahren und eine Vorrichtung zum Kaltgasspritzen sind in der europäischen Patentschrift EP 0 484 533 B1 im einzelnen beschrieben. Als Düse wird dabei eine de Laval'sche Düse benutzt, im folgenden kurz Lavalldüse genannt. Lavalldüsen bestehen aus einem konvergenten und einem sich in Stromrichtung daran anschließenden divergenten Abschnitt. Die Kontur der Düse muß im divergenten Bereich in bestimmter Weise geformt sein, damit es nicht zu Strömungsablösungen kommt und keine Verdichtungsstöße auftreten und die Gasströmung den Gesetzen nach de Laval gehorcht. Charakterisiert sind Lavalldüsen durch diese Kontur und die Länge des divergenten Abschnitts und desweiteren durch das Verhältnis des Austrittsquerschnitts zum engsten Querschnitt. Der engste Querschnitt der Lavalldüse heißt Düsenhals. Als Prozessgas werden Stickstoff, Helium, Argon, Luft oder deren Gemische verwendet. Meist kommt jedoch Stickstoff zur Anwendung, höhere Partikelgeschwindigkeiten werden mit Helium oder Helium-Stickstoff-Gemischen erreicht.

[0003] Derzeit sind Vorrichtungen zum Kaltgasspritzen auf Drücke von etwa 1 MPa bis zu einem Maximaldruck von 3,5 MPa und Gastemperaturen bis zu etwa 800°C ausgelegt. Das erhitzte Gas wird zusammen mit den Spritzpartikeln in einer Lavalldüse entspannt. Während der Druck in der Lavalldüse abfällt, steigt die Gasgeschwindigkeit auf Werte bis zu 3000 m/s und die Partikelgeschwindigkeit auf

Werte bis zu 2000 m/s. Bekanntermaßen werden die Spritzpartikel mit Hilfe eines Pulverrohrs – in Strömungs- und Spritzrichtung gesehen – vor dem Düsenhals im Eingangsbereich der Lavalldüse in dieselbe injiziert. Dort herrscht ein Druckzustand nahe dem Ausgangsdruck, es sind also Werte bis zu 3,5 MPa möglich. Mindestens ein solcher Druck muss nun bei der Injektion des pulverförmigen Beschichtungswerkstoffes aufgebracht werden. Konzeption und Betreiben eines Pulverförderers sind jedoch bei solch hohen Drücken äußerst problematisch und technisch noch nicht zufriedenstellend gelöst. Von Nachteil sind weiterhin störende Verwirbelungen der Spritzpartikel am l'nde des Pulverrohrs, mit dem die Partikel in die Lavalldüse injiziert werden. Diese Verwirbelungen sind hinderlich für die Beschleunigung und wirken sich qualitätsmindernd aus. Ferner ist die Herstellung einer Lavalldüse, in welcher die hohen Gas- und Partikelgeschwindigkeiten erreicht werden, aufgrund ihres kleinsten engsten Querschnittes von nur 1,5 bis 3,5 mm Durchmesser sehr aufwendig und kostenintensiv.

[0004] Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung der eingangs genannten Art aufzuzeigen, welche die Injektion der Spritzpartikel unter Vermeidung der erwähnten Nachteile durchführt.

[0005] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die Injektion der Spritzpartikel erst im divergenten Abschnitt der Lavalldüse erfolgt. Das Verschieben der Injektionsstelle hin in einen Bereich, wo sich die Düse bereits wieder erweitert, bedeutet, dass die Injektion bei einem Druck stattfindet, der deutlich unter dem maximalen Ausgangsdruck liegt, da in diesem Bereich bereits die Entspannung des Gases einsetzt. Der im Bereich des Düsenhalses einsetzende starke Druckabfall lässt es sogar zu, den Gas Eintrittsdruck auf bis zu 6,3 MPa zu erhöhen. Wegen des Druckabfalls erleichtert sich das Injizieren der pulverförmigen Spritzpartikel wesentlich und aus den thermischen Spritzverfahren bekannte Technik kann verwendet werden. Insbesondere Konzeption und Betrieb des Pulverförderers vereinfachen sich und gängige Pulverförderer, die üblicherweise im Bereich bis zu 1,5 MPa arbeiten, können benutzt werden. Da im divergenten Teil der Lavalldüse nicht nur der Druck absinkt, sondern auch die Temperatur des Gases abfällt, kann das Gas auf höhere Temperaturen vorgewärmt werden. Damit kann die Strömungsgeschwindigkeit des Gases erhöht werden. Die Spritzpartikel kommen jedoch erst mit dem "kalten" Gas in Berührung. Ein Anbacken der Partikel an die Düsenwand, wie es bei höheren Gaseintrittstemperaturen geschieht, ist damit unterbunden.

[0006] In vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung ergibt die Kombination der Formen, also die Außenkontur des Pulverrohrs zusammen mit der Innenkontur des äußeren Rohrs, in welchen das Gas strömt, eine Düse, die den Gesetzmäßigkeiten von de Laval gehorcht. Mit dieser Lavalldüse kann das Verfahren des Kaltgasspritzens vorteilhaft betrieben werden. Das vorgewärmte Gas wird auf Geschwindigkeiten von bis zu 3000 m/s beschleunigt. Hohe Strömungsgeschwindigkeiten des Gases sind für hohe Partikelgeschwindigkeiten Voraussetzung. Der Kontakt der Partikel mit dem Gas erfolgt bei hohen Geschwindigkeiten und bei Temperaturen, bei welchen die Spritzpartikel nur aufgewärmt werden. Dadurch werden die angewärmten Spritzpartikel optimal beschleunigt, bevor sie auf das Werkstück treffen.

[0007] In vorteilhafter Ausgestaltung erfolgt die Injektion der Spritzpartikel an einem Ort, der in dem Bereich zwischen einem Viertel und der Hälfte einer Strecke liegt, deren Anfangspunkt durch den Düsenhals und deren Endpunkt durch den Düsenaustritt festgelegt ist, wobei vom Düsenhals aus gemessen wird.

[0008] Der Injektionsort für die Spritzpartikel ist vorteilhafterweise so gewählt ist, dass die Injektion der Spritzpartikel in dem divergenten Abschnitt der Lavaldüse bei einem Druck von weniger als 1,5 MPa erfolgt. Damit ist eine einfache Spritzpartikelinjektion gewährleistet und gängige Pulverförderer können benutzt werden. Selbst eine Injektion der Spritzpartikel bei Drücken, die unterhalb des Normaldrucks liegen, ist möglich. Dies bedeutet, dass zur Injektion kein Druck aufgewendet werden muss, da die Spritzpartikel in den Gasstrahl eingezogen werden. Andererseits kann der Eintrittsdruck für das Gas deutlich höher gewählt werden als bei heute üblichen Kaltgasspritzen-Verfahren. Ein hoher Gaseintrittsdruck, der bei dem erfindungsgemäßen Verfahren bis zu 6,3 MPa, vorzugsweise zwischen 1,0 und 3,5 MPa, betragen kann, hat hohe Gasgeschwindigkeiten zur Folge und ermöglicht somit hohe Geschwindigkeiten für die Spritzpartikel.

[0009] In einer vorteilhaften Variante der Erfindung hat der Gasdurchlass an der engsten Stelle einen kreisringförmigen Querschnitt. Dieser wird nach innen begrenzt durch die äußere Kontur des Pulverrohrs und nach außen begrenzt durch die innere Kontur des Düsenrohrs. In diesem Gasdurchlass wird das Gas beschleunigt. Durch die Größe des Gasdurchlasses ist ferner der Gasverbrauch beim Kaltgasspritzen vorgegeben. Da der kreisringförmige Querschnitt ohne Probleme klein gewählt werden kann, ist das hier vorgeschlagene Verfahren wirtschaftlich anwendbar.

[0010] Die erfindungsgemäße Kaltgasspritzeinrichtung ist dadurch gekennzeichnet, dass das Pulverrohr innerhalb der Lavaldüse im divergenten Abschnitt endet. Damit endet das Pulverrohr in einem Bereich, in welchem der Druck durch die einsetzende Gasbeschleunigung bereits abfällt. Die Konstruktion des Pulverförderers vereinfacht sich damit wesentlich, da dieser nur für den niedrigeren Druck dimensioniert werden muss, der am Ende des Pulverrohrs herrscht. Die Lavaldüse besteht nunmehr durch das Einbringen des Pulverrohrs in einen äußeren Düsenkörper erfindungsgemäß aus zwei Teilen, die gut zu fertigen sind. Der äußere Düsenkörper, dessen Innenseite bearbeitet werden muß, ist relativ groß und das Pulverrohr, das den zweiten Teil der Lavaldüse bildet, ist nur an der Außenseite zu bearbeiten. Die erfindungsgemäße benötigte Lavaldüse ist damit deutlich leichter als die bisher verwendeten Düsen zu fertigen, da insbesondere die Innenkontur einer Düse, wenn diese sehr eng ist, problematisch herzustellen ist. Dies ist von großem Vorteil, da die Düse beim Kaltgasspritzen großem Verschleiß unterliegt und deshalb regelmäßig ausgetauscht werden muß. Der Gasverbrauch der erfindungsgemäßen Kaltgasspritzeinrichtung erhöht sich durch den größeren Querschnitt der Lavaldüse nicht, da dieser über den engsten Abstand der Außenkante des Pulverrohrs und der Innenkontur der Lavaldüse gegeben ist. Dies ist notwendig, da der Gasverbrauch, der bereits bei dem Stand der Technik entsprechendem Verfahren sehr hoch ist, nicht weiter gesteigert werden darf, um das hier vorgeschlagene Verfahren wirtschaftlich ausführen zu können. Auch werden qualitätsmindernde Verwirbelungen der Spritzpartikel, die am Austrittsort entstehen, durch eine solche Ausgestaltung der Lavaldüse aus Pulverrohr und äußerem Düsenkörper unterbunden.

[0011] In Weiterbildung der Erfindung ergeben die innere Form eines äußeren Düsenkörpers zusammen mit der äußeren Form eines coaxial in dem äußeren Düsenkörper angeordneten, in Spritzrichtung orientiertem Pulverrohrs eine Lavaldüse. Eine derartig gestaltete Lavaldüse ist – im Vergleich zu den nach dem Stand der Technik benutzten Düsen – unproblematisch herzustellen, da durch die erfindungsgemäße Konstruktion die Innenkontur des äußeren Düsenkörpers und/oder die Außenseite des Pulverrohrs zu fertigen ist.

Dies ist im Vergleich unproblematisch, da der äußere Düsenkörper im Verhältnis groß und damit relativ leicht anzufertigen ist und bei dem kleinen Pulverrohr nur die einfach zu bearbeitende Außenfläche und nicht die Innenkontur zu bearbeiten ist.

[0012] In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die Kaltgasspritzeinrichtung insbesondere derart gestaltet, dass die ringförmige Fläche für den Gasdurchlass, die durch den Abstand der Außenkontur des Pulverrohrs und der Innenkontur des äußeren Düsenkörpers bestimmt ist, an ihrer kleinsten Stelle eine Größe von 1 bis 30 mm<sup>2</sup>, vorzugsweise von 3 und 10 mm<sup>2</sup>, hat. Durch dieses Merkmal ist gewährleistet, dass der Gasverbrauch, der durch diese ringförmige Fläche gegeben ist, vergleichbar mit dem Gasverbrauch einer Kaltgasspritzeinrichtung nach dem Stand der Technik ist und auch die sonstige Funktion sich in günstiger Weise ergibt. Dies ist insbesondere deshalb notwendig, um die Wirtschaftlichkeit der Vorrichtung zu gewährleisten.

[0013] In Weiterbildung der Erfindung hat das innen befindliche Pulverrohr auf seiner Außenseite eine derart gestaltete Kontur, dass sich zusammen mit einer glatten, zylindrischen Innenkontur des äußeren Düsenkörpers eine Lavaldüse ergibt.

[0014] Alternativ ergibt sich eine Lavaldüse aus einem innen befindlichen Pulverrohr mit glatter zylindrischen Außenseite und außen liegendem Düsenkörper, der auf seiner Innenseite entsprechend geformt ist.

[0015] Die Lavaldüse wird in einer anderen Möglichkeit dadurch gebildet, dass die notwendige Kontur für die Lavaldüse teilweise auf der Außenseite des Pulverrohrs und teilweise auf der Innenseite des äußeren Düsenkörpers aufgebracht wird.

[0016] Das Öffnungsverhältnis der Lavaldüse, d. h. das Verhältnis der Querschnittsfläche für den Gasdurchlass an der engsten Stelle zum Querschnitt am Austritt der Düse, liegt in einer vorteilhaften Ausgestaltung zwischen 1 : 2 und 1 : 25, vorzugsweise zwischen 1 : 5 und 1 : 11.

[0017] In einer bevorzugten Variante hat der äußere Düsenkörper im konvergenten Bereich einen kreisringförmigen Querschnitt, der im divergenten Bereich der Düse in einen rechteckigen Querschnitt übergeht. Mit Hilfe rechteckiger Formen werden schmale Bereiche und große Flächen vorteilhaft beschichtet.

[0018] Vorteilhafterweise besteht sowohl das Pulverrohr als auch der äußere Düsenkörper jeweils aus einem metallischen Werkstoff, einer Keramik oder einem Kunststoff.

[0019] Pulverrohr und Düsenkörper bestehen in vorteilhafter Ausgestaltung aus unterschiedlichen Materialien. In Frage kommen hierfür unterschiedliche Metalllegierungen, unterschiedliche Keramiken, unterschiedliche Kunststoffe, oder eine Kombination davon, z. B. Metall/Keramik, Metall/Kunststoff, Kunststoff/Keramik. Vorzugsweise besteht der äußere Düsenkörper aus Metall, während das innenliegende Pulverrohr aus Keramik gefertigt ist.

[0020] Pulverrohr und/oder äußerer Düsenkörper sind in einer vorteilhaften Variante aus – in Strömungsrichtung betrachtet – zwei oder mehr Teilen zusammengefügt, bei denen das erste Teil den Bereich um den Düsenhals umfasst und sich ein zweites bis zum Düsenaustritt reichendes Teil daran anschließt. Dabei ist das zweite Teil leicht zu tauschen und wird hinsichtlich seiner Gestalt und Werkstoffwahl nach den Anforderungen der verschiedenen Spritzwerkstoffen ausgewählt.

[0021] Die beiden eben genannten Teile bestehen dabei vorteilhafterweise aus unterschiedlichen Werkstoffen.

[0022] Im folgendem soll die Erfindung anhand zweier schematisch dargestellten Beispiele näher erläutert werden:

[0023] In Fig. 1 ist eine erfindungsgemäße Kaltgasspritz-

einrichtung gezeigt, in dessen Ausführung das Pulverrohr im divergenten Bereich des äußeren Düsenkörpers endet.

[0024] In Fig. 2 sind drei Varianten für die Ausgestaltung der Lavaldüse aus Pulverrohr und äußerem Düsenkörper gezeigt.

[0025] Die in Fig. 1 schematisch gezeigte Kaltgasspritz-einrichtung umfasst ein zylindrisches Gehäuse 5 mit innen-liegender Vorkammer 3, die ausgangsseitig eine Gasvertei-blende 4 abschließt, die wiederum mittig von einem Pul-ver(zufuhr)rohr 2 durchdrungen wird. An die Gasvertei-lungsblende 4 schließt sich ein äußerer Düsenkörper 1 an, wobei Blende 4 und Düse 1 mit einer Überwurfmutter 6 am Gehäuse 5 befestigt sind. Die Spritzrichtung der gezeigten Vorrichtung ist durch einen Pfeil 7 gekennzeichnet. Das der Mittelachse des äußeren Düsenkörpers 1 folgende Pulver-rohr 2, gehalten von der Blende 4, endet vom Gehäuse kom-mend hinter der engsten Stelle im divergenten Bereich des äußeren Düsenkörpers 1, wo der Gasdruck bereits beträcht-lich im Vergleich zum Anfangsdruck abgefallen ist und üb-licherweise lediglich etwa ein Drittel dessen beträgt. Der hohe Anfangsdruck herrscht in der Vorkammer 3 und be-trägt in heute üblichen Anwendungen häufig zwischen 1 und 3,5 MPa und kann durch die erfindungsgemäße Ausgestal-tung der Kaltgasspritzeinrichtung auf bis zu 6,3 MPa gesteigert werden.

[0026] Fig. 2 zeigt drei besonders vorteilhafte Ausgestal-tungen einer erfindungsgemäßen Kaltgasspritzeinrichtung wobei insbesondere Bezug auf die Gestaltung des Pulver-rohrs 2 und des äußeren Düsenkörpers 1 genommen wird (Bezugsziffern wie in Fig. 1). In den Fig. 2a, b und c ist das Pulverrohr 2 jeweils von dem äußeren Düsenkörper 1 umge-ben. Die Kombination der inneren Kontur des äußeren Düsenkörpers und der äußeren Form des Pulverrohrs ergeben eine Lavaldüse. In Fig. 2a ergibt eine glatte, zylindrische In-nenform des äußeren Düsenkörpers zusammen mit einer nach außen gewölbten Außenkontur des Pulverrohrs die La-valdüse. In Fig. 2b ist hingegen das Pulverrohr zylindrisch geformt und der äußere Düsenkörper in seiner Innenseite geschwungen. Düsenkörper und Pulverrohr sind in Fig. 2c derartig geschwungen, so dass sich die für die Lavaldüse notwendige Kontur aus der Kombination der Formen der Außenseite des Pulverrohrs und der Innenseite des äußeren Düsenkörpers ergibt.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer Beschichtung oder eines Formteils mittels Kaltgasspritzen, bei dem pul-verförmige Spritzpartikel in einen Gasstrahl, für wel-chen ein Gas komprimiert und über eine Lavaldüse ent-spannt wird, injiziert werden und die Spritzpartikel bei der Entspannung des Gasstrahls in der Lavaldüse auf Geschwindigkeiten von bis zu 2000 m/s gebracht wer-den, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Injektion der Spritzpartikel erst im divergenten Abschnitt der Laval-düse erfolgt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeich-net, dass die Spritzpartikel mittels eines koaxial in ei-nem äußeren Düsenkörper angeordneten, in Spritzrich-tung orientierten Pulverrohrs in den Gasstrahl injiziert werden, wobei das Pulverrohr in seiner äußeren Form zusammen mit der inneren Form des äußeren Düsen-körpers eine de Laval'sche Düse ergeben.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, da-durch gekennzeichnet, dass die Injektion der Spritzpar-tikel an einem Ort erfolgt, der in dem Bereich zwischen einem Viertel und der Hälfte einer Strecke liegt, deren Anfangspunkt durch den Düsenhals und deren End-

punkt durch den Düsenaustritt festgelegt ist, wobei vom Düsenhals aus gemessen wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, da-durch gekennzeichnet, dass die Injektion der Spritzpar-tikel in den divergenten Abschnitt der Lavaldüse bei ei-nem Druck von weniger als 1,5 MPa erfolgt.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, da-durch gekennzeichnet, dass der Gasdurchlass an der engsten Stelle einen kreisringförmigen Querschnitt hat, der nach innen begrenzt wird durch die äußere Kontur des Pulverrohrs und nach außen begrenzt wird durch die innere Kontur des Düsenrohrs.

6. Kaltgasspritzeinrichtung mit einer Lavaldüse be-stehend aus einem äußeren Düsenkörper (1) und ei-nem Pulverrohr (2), wobei das Pulverrohr für die Zu-fuhr von Spritzpartikel innerhalb des äußeren Düsen-körpers sorgt, dadurch gekennzeichnet, dass das Pul-verrohr innerhalb des äußeren Düsenkörpers im diver-genten Abschnitt der Lavaldüse endet.

7. Kaltgasspritzeinrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die innere Form eines äußeren Düsenkörpers zusammen mit der äußeren Form eines koaxial in dem äußeren Düsenkörper angeordneten, in Spritzrichtung orientiertem Pulverrohrs eine Lavaldüse ergeben.

8. Kaltgasspritzeinrichtung nach einem der Ansprüche 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass die ringförmige Fläche für den Gasdurchlass, die durch den Abstand der Außenkontur des Pulverrohrs und der Innenkontur der äußeren Düse bestimmt ist, an ihrer kleinsten Stelle zwischen eine Größe von 1 bis 30 mm<sup>2</sup>, vorzugsweise 3 bis 10 mm<sup>2</sup>, hat.

9. Kaltgasspritzeinrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass das innen be-findliche Pulverrohr auf seiner Außenseite eine derart ge-staltete Kontur hat, dass sich zusammen mit einer glat-ten, zylindrischen Innenkontur des äußeren Düsenkör-pers eine Lavaldüse ergibt.

10. Kaltgasspritzeinrichtung nach einem der Ansprü-che 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass das innen be-findliche Pulverrohr eine glatte zylindrische Außen-seite hat und der außen liegende Düsenkörper auf sei-ner Innenseite so geformt ist, dass sich eine Lavaldüse ergibt.

11. Kaltgasspritzeinrichtung nach einem der Ansprü-che 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die notwen-dige Kontur für eine Lavaldüse teilweise auf der Au-ßenseite des Pulverrohrs und teilweise auf der Innen-seite des äußeren Düsenkörpers aufgebracht wird.

12. Kaltgasspritzeinrichtung nach einem der Ansprü-che 6 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass das Öff-nungsverhältnis der Lavaldüse, d. h. das Verhältnis der Querschnittsfläche für den Gasdurchlass an der engsten Stelle zum Querschnitt am Austritt der Düse, zwischen 1 : 2 und 1 : 25, vorzugsweise zwischen 1 : 5 und 1 : 11 liegt.

13. Kaltgasspritzeinrichtung nach einem der Ansprü-che 6 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass der äußere Düsenkörper im konvergenten Bereich einen kreisring-förmigen Querschnitt hat, der in der Nähe des Düsen-halses oder im divergenten Bereich der Düse in einen rechteckigen Querschnitt übergeht.

14. Kaltgasspritzeinrichtung nach einem der Ansprü-che 6 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass Pulverrohr und äußerer Düsenkörper jeweils aus einem metalli-schen Werkstoff, einer Keramik oder einem Kunststoff be-stehen.

15. Kaltgasspritzeinrichtung nach einem der Ansprü-

che 6 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass Pulverrohr und äußerer Düsenkörper aus unterschiedlichen Materialien bestehen.

16. Kaltgasspritzeinrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass Pulverrohr und/oder äußerer Düsenkörper – in Strömungsrichtung betrachtet – aus zwei oder mehr Teilen zusammengesetzt sind, bei denen das erste Teil den Bereich um den Düsenhals umfasst und sich ein zweites bis zum Düsenaustritt reichendes Teil daran anschließt, wobei das zweite Teil leicht auswechselbar ist.

17. Kaltgasspritzeinrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Teile aus unterschiedlichen Werkstoffen bestehen.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

- Leerseite -

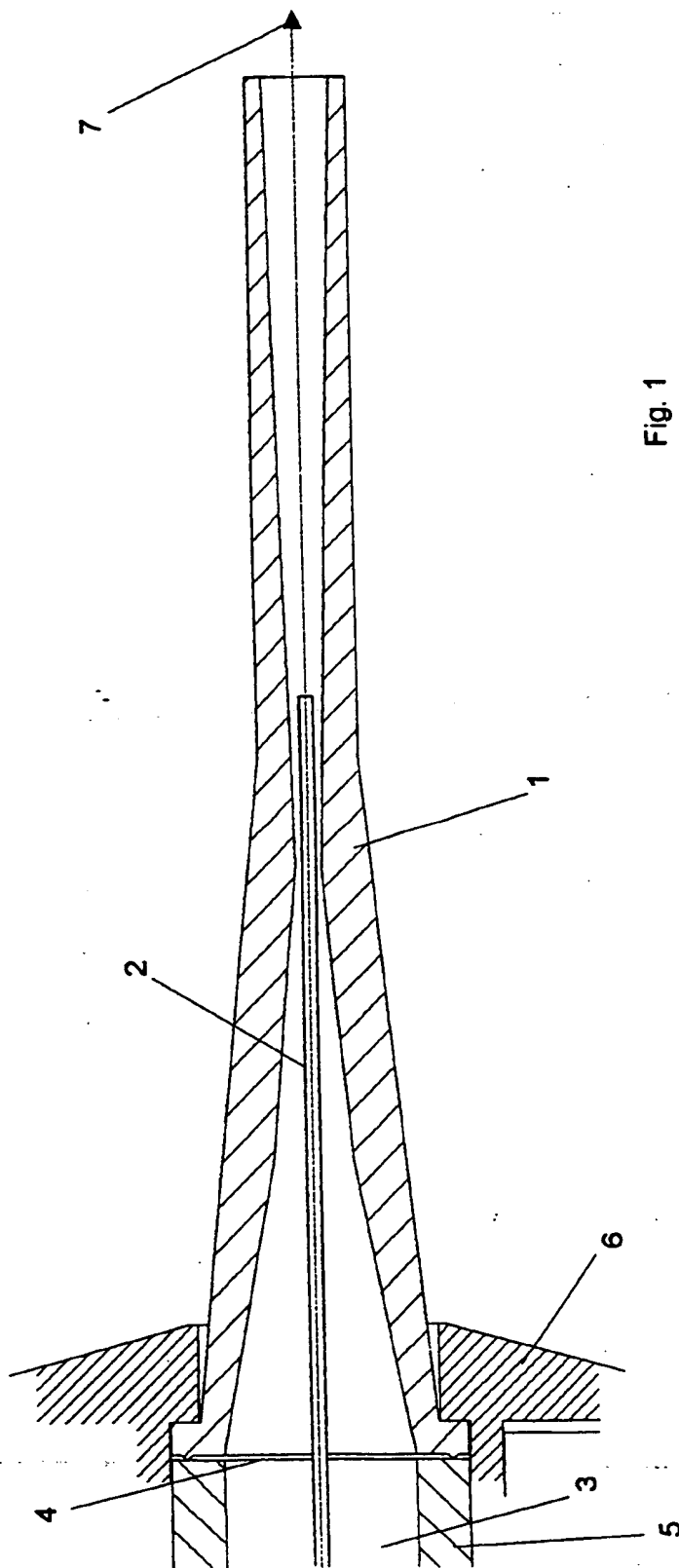


Fig. 1

